Acta Botánica Mexicana (1989), 5:19-29

LOS PETENES DE SIAN KA'AN, QUINTANA ROO Y SU RELACION CON GRADIENTES DE PRESION HIDRICA

JORGE LOPEZ-PORTILLO

Instituto de Ecología, A.C.
Apartado postal 18-845
Delegación Miguel Hidalgo
11800 México, D.F.

EXEQUIEL EZCURRA Y JOSE MANUEL MAASS

Centro de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 70-275
04510 México, D.F.

RESUMEN

Se ha propuesto que los petenes, presentes en zonas cársticas costeras de la Península de Yucatán, están alimentados por manantiales de agua dulce que provienen de corrientes subterráneas. Este trabajo puso a prueba dicha afirmación. En los alrededores de la Laguna de Chunyaxché se eligieron tres petenes y sus zonas inundadas asociadas, de los que se tomaron muestras de suelo de los perfiles edáficos, y muestras de agua del nivel freático. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua continental y marina. Se determinó el pH y la concentración de cuatro cationes tanto de los suelos como de las aguas. En suelos también se determinó el nitrógeno, el fósforo y el azufre totales.

Un análisis de varianza multivariado (ANAVAM) aplicado a las diferentes variables medidas en los suelos indicó que no hay diferencias significativas entre los suelos de petenes y los de las zonas de hidrófitas asociadas. Para las variables medidas en el agua el ANAVAM indicó que las muestras de petenes y marismas difieren más de las de cenotes y pozos continentales que entre sí. Los resultados obtenidos sugieren que no es necesario un aporte directo de agua continental para la formación de petenes, por lo que estos últimos podrían considerarse como islotes que son ocupados por especies de selva mediana y/o de manglar, de acuerdo al régimen de inundación del islote.

ABSTRACT

It has been suggested that hummocks (petenes), present in karstic areas, are fed with fresh, continental water from underground sources. We tested this supposition. Three hummocks and their associated inmersed areas were chosen around the Chunyaxché Lagoon, and soil samples from edaphic

horizons and samples from the phreatic water were taken. Samples from continental and sea water were also taken. In water and soil samples, pH and concentration of four cations were determined. Also, total nitrogen, phosphorus and sulphur were determined in soils.

A multivariate analysis of variance (MANOVA) made on the variables measured in soils showed no significant differences between the hummocks and their associated inmersed areas. For the water samples, the MANOVA indicated that hummocks and their associated inmersed zones differ more from continental areas than between them. These results suggest that a direct continental water source is not necessary to determine the presence of a hummock. Thus, hummocks could be considered as islets which are occupied by tropical evergreen seasonal forest and/or mangrove species, according to the flooding conditions in the islet.

INTRODUCCION

En la Península de Yucatán, la zona inundada de la plataforma calcárea costera está ocupada de manera predominante por manglares enanos de *Rhizophora mangle* L. o por pastizales de *Cladium jamaicense* Crantz (pero ver Olmsted et al., 1983 para otras comunidades vegetales también presentes). Distribuídos sobre este paisaje se encuentran los petenes, que son islas de vegetación que contienen especies de selva mediana, tales como *Metopium brownei* (Jacq.) Urban, *Manilkara achras* (Mill.) Fosberg, *Ficus tecolutlensis* (Liebm.) Miq., *Sabal yapa* C. Wright ex Beccaré, y otras de manglar, como *Avicennia germinans* L. y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. Los mangles dentro de los petenes son por lo regular más altos que en las zonas de inundación permanente (Olmsted y Durán, en prensa).

El contraste tan marcado entre los petenes y la vegetación hidrófila que los rodea ha sido explicado de dos formas alternativas (Fig. 1): a) Los petenes están alimentados por manantiales de agua dulce continental que provienen de corrientes subterráneas (Barrera, 1982), y b) Los petenes se forman como consecuencia de las diferencias en la altura del suelo con respecto al nivel de inundación (Olmsted et al., 1983). El objetivo de este trabajo fue poner a prueba ambas hipótesis.

Zona de estudio. El trabajo se llevó a cabo en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, en la Laguna de Chunyaxché, Quintana Roo, México. Debido a la naturaleza cárstica de la península, el agua continental fluye subterraneamente y es liberada al mar a lo largo de la costa, siguiendo un gradiente gravitacional (Springall y Espinosa, 1972; Bloom, 1978). En la Laguna de Chunyaxché el agua es practicamente dulce y la cuña salina a lo largo del estrecho canal que conecta a la laguna con el Mar Caribe es abrupta, ya que la conductividad del agua cambia de 850 a 3,350 µS en menos de 2 km. En este canal la velocidad de flujo de agua al momento del muestreo fue de 1.86 m por segundo.

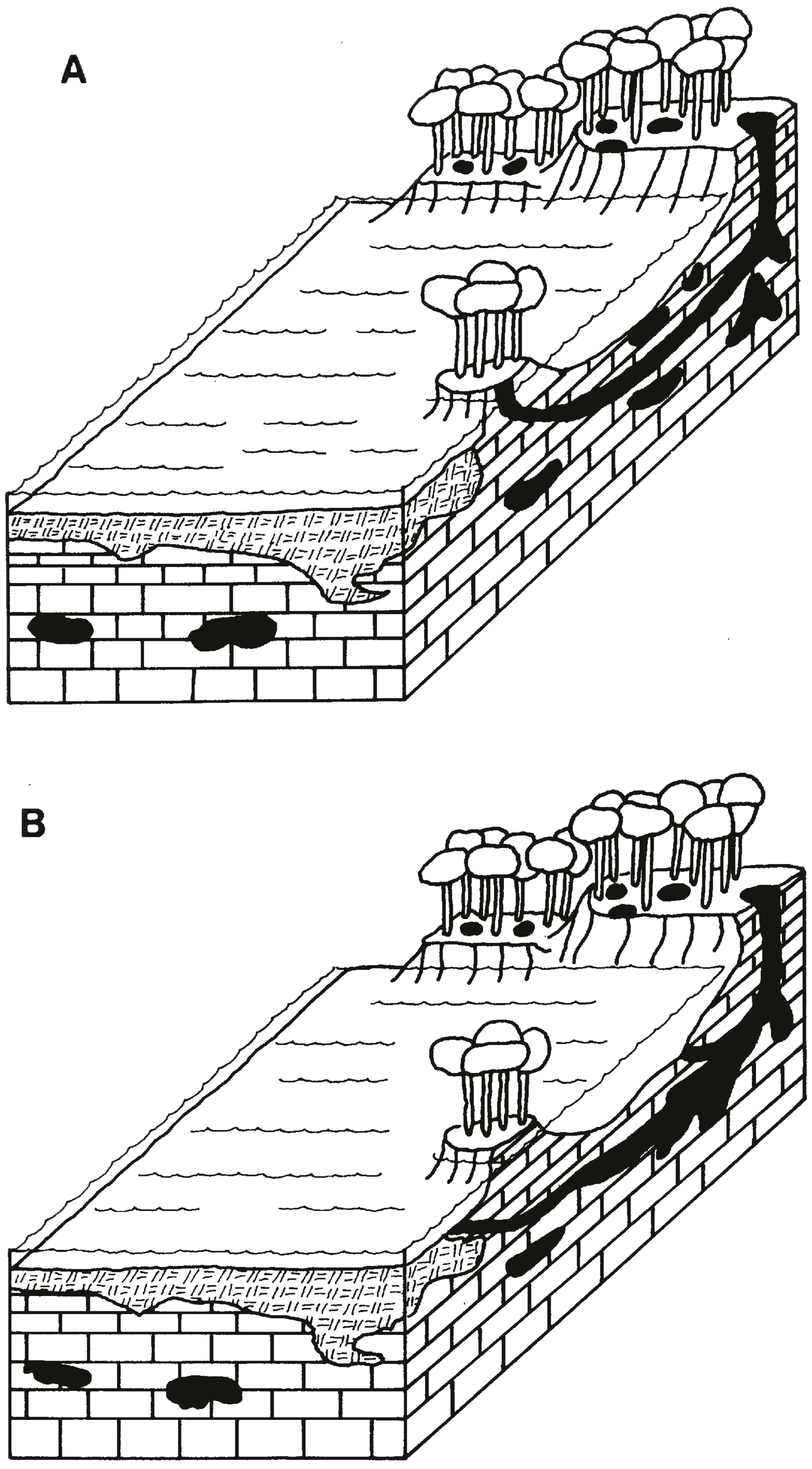


Fig. 1. Hipótesis alternativas acerca de la formación de un petén: A. las corrientes subterráneas con agua de origen continental afloran en el petén y la vegetación se distribuye en círculos concéntricos debido a las diferencias en salinidad; B. la formación de un petén depende del relieve y los círculos concéntricos de vegetación se forman por las diferencias del nivel del suelo con respecto al nivel de inundación.

METODOLOGIA

En los alrededores de la Laguna de Chunyaxché se eligieron, por su accesibilidad, tres petenes y sus zonas inundadas aledañas (Fig.2). En cada uno de los petenes se midió el relieve con respecto al nivel de agua de la laguna así como la profundidad de la roca parental en uno de los petenes (Fig. 3). También se tomaron muestras de suelo de los perfiles edáficos y de agua del nivel freático. Por último, se recogieron muestras de agua continental en un pozo y un cenote, así como del agua más cercana al mar.

Se colectó un total de 12 muestras de suelo y 15 de agua. Para el suelo (secado y tamizado por una malla de 2 mm) se determinaron las siguientes variables: pH en agua 1:2.5 y en KCl 1N pH 7 1:2.5; los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio; se cuantificó asimismo fósforo, nitrógeno y azufre total (Cuadro 1). Para el agua las variables determinadas fueron: sodio, potasio, calcio, magnesio, amonio, nitratos y pH (Cuadro 2).

Los iones de los suelos fueron extraídos con una solución de Mehlich no. 2 (Council of Soil Testing and Plant Analysis, 1980).

El Na y el K se determinaron por flamometría, el Ca y Mg por absorción atómica, y el amonio y los nitratos por medio de un autoanalizador. El nitrógeno total y los fosfatos también se cuantificaron en el autoanalizador después de digerir previamente los suelos usando el método de Kjeldahl. El azufre total se determinó por medio del método turbidimétrico del sulfato de bario, y el pH se midió con un potenciómetro.

Antes de analizar los datos se calculó la proporción de cada catión con respecto a la suma de todos los cationes, tanto en las muestras de agua como en las de suelo. Dicha proporción no se afecta por la evaporación y esto nos permite distinguir entre aguas continentales y marinas.

Las matrices de datos resultantes (8x12 en muestras de suelos y 7x15 en muestras de agua) se sometieron independientemente a un análisis de varianza multivariado (ANAVAM, Sokal y Rohlf, 1981), en donde las características fisico-químicas fueron tomadas como variables estadísticas. Las muestras de suelos se dividieron en 3 categorías: 1) horizonte A en petenes, 2) horizonte A en marismas, y 3) horizontes A-R, B y C en marismas y petenes). Las muestras de agua se dividieron también en 3 categorías: 1) pozos, 2) nivel freático de petenes, y 3) nivel freático de marismas, orillas de la laguna y zonas inundadas.

RESULTADOS

La figura 3 muestra el relieve en función de la distancia y el nivel de la laguna en relación a la profundidad del nivel freático. Solamente en uno de los petenes se localizó la roca basal, y en éste no se encontraron afloramientos de agua. En los dos petenes restantes, la altura del nivel freático con respecto al nivel de la laguna fue menor (-0.18 m) en un caso y mayor (0.04 m) en el otro. La pequeña diferencia entre niveles se puede atribuir a la dirección en que el viento soplaba el día de la medición.

Las pruebas multivariadas de F de Wilks y Pillai (Morrison, 1976) sobre los datos de suelos no indicaron diferencias significativas entre categorías ($P=0.33$). Este análisis incluye nutrientes tales como el fósforo y el nitrógeno, que han sido considerados críticos para el desarrollo de especies de zonas inundables (vgr. Boto et al., 1985).

Para los datos de aguas, las diferencias entre categorías sí fueron significativas ($P<0.0001$). Los valores de F de Wilks y Pillai de los contrastes entre categorías y los valores

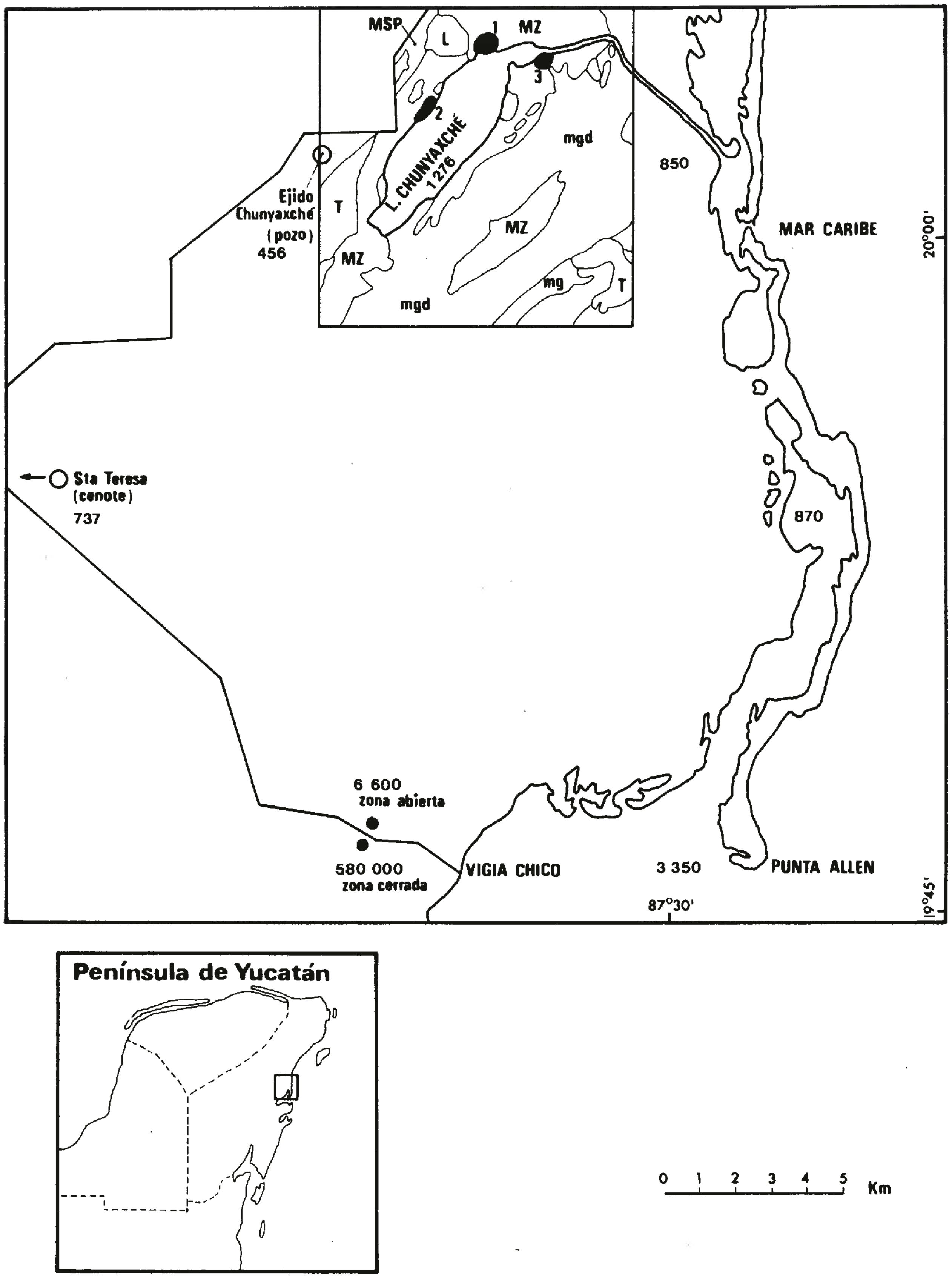


Fig. 2. Localización de la zona de estudio dentro de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. Los círculos negros indican los sitios de muestreo, incluyendo los tres petenes (1 a 3). Los números cercanos a los sitios de muestreo indican las conductividades eléctricas (en $\mu S\ cm^{-1}$). En el recuadro se detallan las comunidades vegetales que circundan la zona de estudio: L, laguna; mg, manglar chaparro denso; mgd, manglar chaparro disperso; MZ, marismas de zacates; T, tasistales (claves y mapa base tomados de López-Ornat, 1983).

Cuadro 1. Concentraciones iónicas medias (con un error estándar entre paréntesis) de las muestras de horizontes edáficos de marismas y petenes. A la derecha de los horizontes se señala el número de muestras utilizadas para obtener las estadísticas. Las unidades son partes por millón, excepto en el pH (unidades de pH). El subíndice 1 en el pH indica su determinación en suelo-agua 1:2.5 y el subíndice 2 indica la determinación del pH en KCl IN 1:2.5.

	MARISMAS				PETENES			
Horizontes:	A (3)		B y C(2)		A (3)		A-R, B y C (4)	
Na	2643	(1143)	586	(100)	2592	(817)	1646	(762)
K	142	(79)	15.3	(5.4)	158	(79)	49.2	(24.6)
P	804	(488)	96.6	(12)	1265	(339)	539	(192)
N	178	(121)	49.9	(10.2)	269	(81)	151	(54)
Ca	12604	(1323)	18077	(3715)	13380	(468)	15126	(1108)
Mg	2675	(1031)	1362	(15)	3328	(514)	2184	(664)
SO_4	1350	(978)	302	(3)	824	(388)	731	(558)
pH_1	7.74	(0.15)	7.93	(0.07)	7.65	(0.09)	7.73	(0.23)
pH_2	7.43	(0.23)	7.85	(0.20)	7.36	(0.11)	7.54	(0.19)

Cuadro 2. Concentraciones iónicas medias (con un error estándar entre paréntesis) de las muestras de agua tomadas de los cenotes y pozos continentales (pozos), nivel freático de los petenes (nivel freático), y del nivel freático de las marismas, orillas de la laguna y zonas inundadas (estuario). A la derecha de los sitios de muestreo se señala el número de muestras usadas para obtener las estadísticas. Las unidades son ppm, excepto en el pH (unidades de pH) y en la conductividad eléctrica (µS cm^{-1}).

	POZOS (2)		NIVEL FREATICO (2)		ESTUARIO (11)	
CE	597	(141)	2024	(457)	1376	(461)
pH	7.24	(0.14)	7.76	(0.12)	7.73	(0.35)
NO_3	1.37	(0.32)	0.005	(0.005)	0.069	(0.412)
Na	68.3	(13.1)	288	(65)	223	(61)
Mg	13.1	(1.0)	66.4	(21.2)	37.3	(6.5)
K	2.57	(0.83)	5.37	(0.55)	6.24	(0.84)
Ca	115.8	(25.3)	161	(82)	63.8	(26.3)
NH_4	0		0.305	(0.015)	0.023	(0.026)

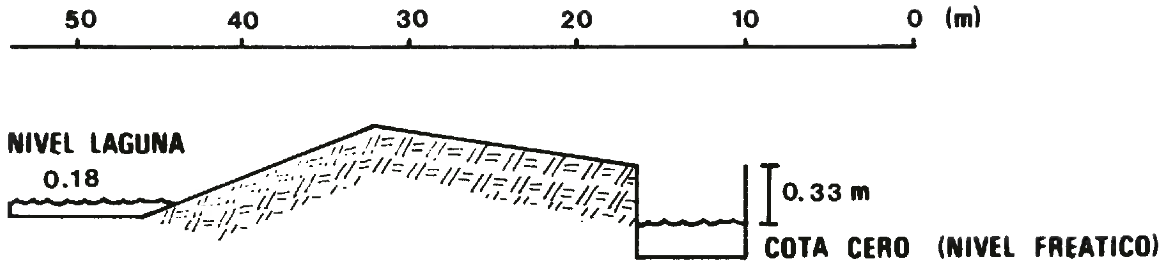
de F de las pruebas univariadas que se derivan de éstas (Cuadro 3) indican que las muestras continentales difieren más de las del nivel freático de los petenes y de las de la superficie de las zonas inundadas que estas dos últimas entre sí.

Cuadro 3. Valores de las pruebas de F de Wilks y Pillai (Fw) para los contrastes entre categorías y valores de F para cada una de las variables utilizadas en el análisis de varianza múltiple: S, agua tomada de la superficie en playas, marismas y canales; F, agua tomada del nivel freático de los petenes; P, agua continental. Nótense los altos valores de Fw para los contrastes S vs. P y F vs. P. Uno, dos y tres asteriscos indican probabilidades menores de 5, 1 y 0.1% respectivamente.

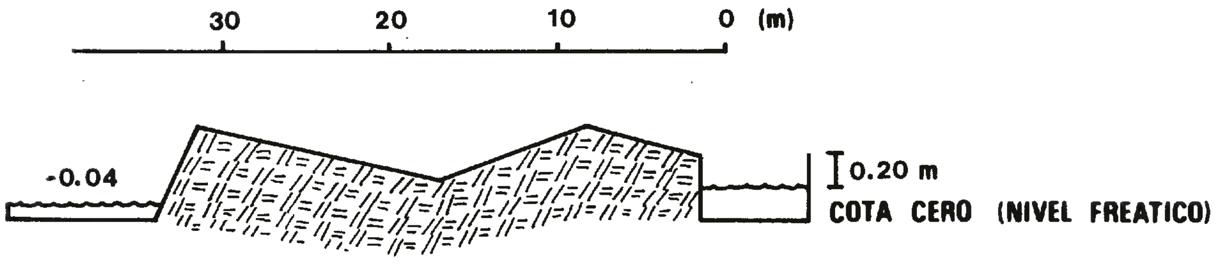
	CONTRASTE			
	S vs. F	S vs. P	F vs.P	F+S vs. P
Fw	8.34 *	70.90 ***	50.74 ***	69.60 ***
NO_3	0.26	154.87 ***	99.22 ***	147.17 ***
pH	0.05	4.10	2.96	4.14
Na	2.97	30.01 ***	8.33 *	19.45 ***
Mg	0.09	2.64	2.19	2.88
K	5.14 *	2.70	0.23	0.24
Ca	6.04 *	85.40 ***	27.19 ***	58.56 ***
NH_4	52.33 ***	0.93	39.69 ***	19.13 ***

Puesto que la correlación entre variables fue alta, se realizaron análisis por componentes principales (ACP) tanto para los datos de suelos como para los de aguas. En el ACP de los suelos, la diferencia entre muestras está dada por la distancia del mar y es independiente de las categorías, ya que no se forman grupos distinguibles; el primer componente explica 79.3% de la variabilidad total de los datos y en éste todas las variables tienen altos puntajes.

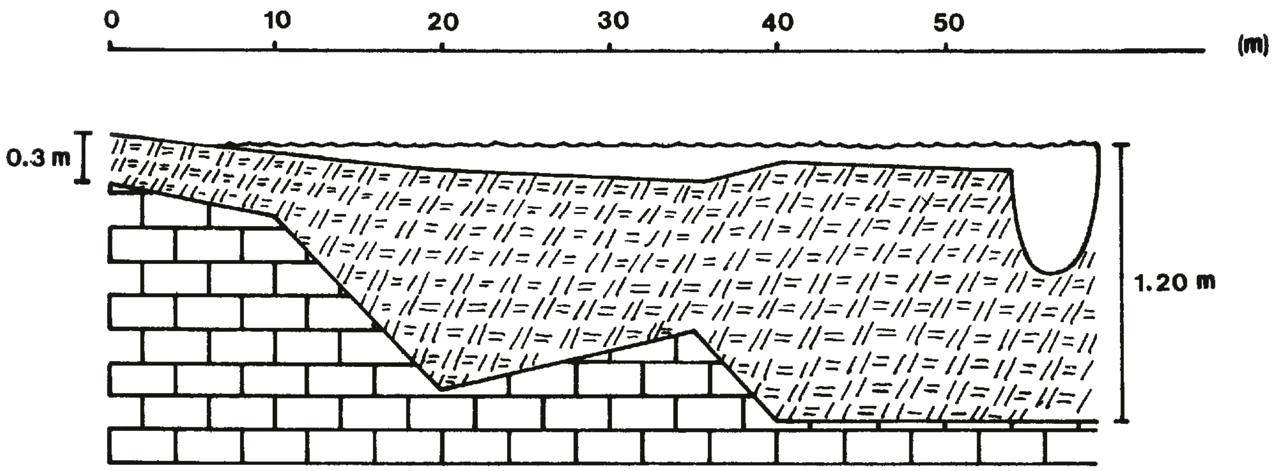
En el ACP sobre las variables medidas en aguas, el primer componente explica 50.6% y el segundo 22.7% de la variabilidad total. Los puntajes tanto de las variables como de los censos se muestran en el bigráfico de la figura 4. Relacionando el eje 1 de la figura 4a con el eje 1 de la Figura 4b (Gower, 1966) podemos observar la clara asociación entre las muestras del ambiente lagunar (nivel freático de los petenes, las marismas, las playas y los canales) y su disociación de las muestras de las aguas continentales, que se debe fundamentalmente a la diferencia en la proporción de cationes (K, Na y Mg). Esta diferencia puede atribuirse a la intrusión de agua del Mar Caribe hacia la Laguna de Chunyaxché.



PETEN 1



PETEN 2



PETEN 3

Fig. 3. Relieve de cada petén y su marisma asociada con respecto al nivel de la laguna. En el petén tres se muestra también la profundidad de la roca basal.

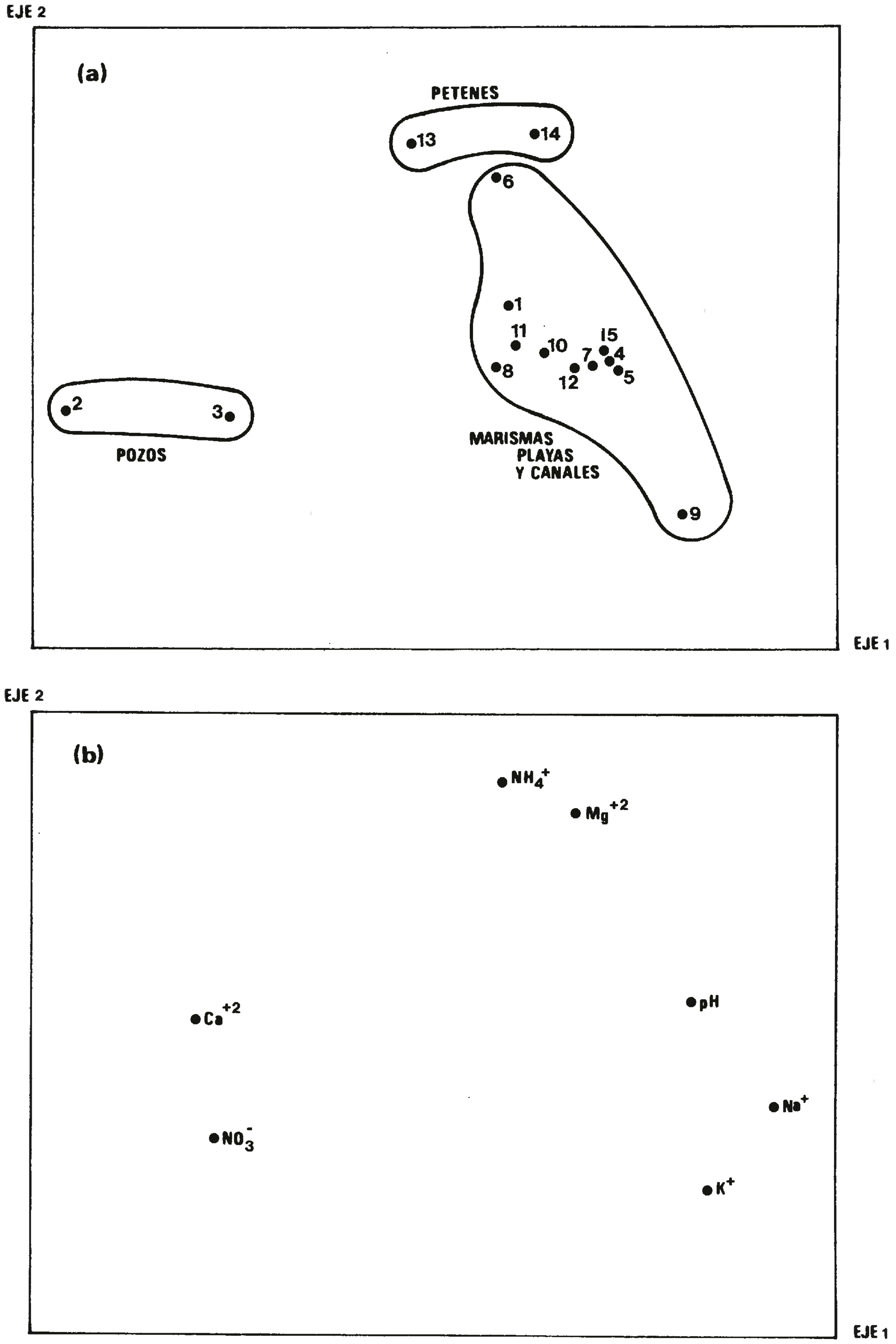


Fig. 4. Bigráfico hecho con base en los puntajes del análisis por componentes principales de (a) las muestras de agua y (b) las variables utilizadas para los análisis químicos. La sobreposición de los puntajes de la figura a con los puntajes de la figura b permite observar en qué difieren las muestras entre sí.

DISCUSION

Uno de los argumentos que mencionó Barrera (1982) para justificar la hipótesis de la dependencia de los petenes de manantiales fue la existencia de asociaciones vegetales en círculos concéntricos alrededor de los petenes. Dichos círculos también los observamos especialmente en uno de los petenes, pero la exploración del subsuelo indicó que tal petén está sobre una elevación por afloramiento de la roca calcárea y que en ésta no hay indicios de ningún ojo de agua. La disposición de asociaciones vegetales en círculos concéntricos, entonces, no necesariamente debe explicarse a partir de la existencia de manantiales en el petén y puede ser la respuesta a un gradiente condicionado por el relieve; ya que el rango de mareas en esta zona es relativamente bajo (de alrededor de 50 cm), una diferencia de varios centímetros puede determinar comunidades vegetales muy diferentes.

El análisis de aguas indica que no hay manantiales en ninguno de los tres petenes muestreados, pues el agua del nivel freático no difiere significativamente de la de las marismas y de la orilla de la laguna. El análisis de los suelos tampoco apoya la hipótesis de los manantiales e indica que las diferencias que encontramos en los suelos están relacionadas con su localización respecto al mar.

Otra forma de probar la presencia de manantiales consiste en la observación de la altura del nivel freático con respecto a la altura de la laguna: en caso de existir un manantial, el agua brota espontáneamente y por tanto la altura del nivel freático debe ser mayor que la de la laguna. En ninguno de los petenes se observó un gradiente hídrico positivo de magnitud tal que pudiera sugerir la presencia de un manantial subterráneo. Más bien, el flujo de agua continental parece ser difuso y, aun así, ha demostrado sèr importante en la explicación de la distribución de manglares sobre planicies de marea en Australia (Semeniuk, 1983).

Aunque los datos presentados aquí no apoyan la hipótesis de la dependencia de petenes de manantiales con agua continental, esta posibilidad debe seguir explorándose. Durán (1987) encontró en la época más seca grandes diferencias en la salinidad entre dos petenes y sus marismas asociadas en Campeche y Rico-Gray (1982) considera la existencia de manatiales como uno de los factores para el establecimiento de petenes, entre los cuales menciona la antiguedad del petén, la cercanía al mar, la salinidad del sustrato y la elevación de la plataforma continental. Queda por descartar en el primer caso si el agua que se midió fue de origen pluvial; pero aunque no fuera así, la salinidad en las marismas de *Cladium jamaicense* y *Rhizophora mangle* que nosotros registramos es tan baja que resulta inexplicable por qué la segunda especie crece al tamaño de un arbusto dentro de la marisma y al tamaño de un árbol dentro de los petenes (a unos cuantos metros de distancia) si no se consideran las diferencias en relieve.

En Campeche hay petenes con mangles con alturas mayores de 20 m (Durán, 1987) al lado de mangles achaparrados en las marismas asociadas, lo que también se observa en Sian Ka'an. Puesto que el agua de la Laguna de Chunyaxché es practicamente dulce, parecen ser otros los factores que limitan el crecimiento fuera del petén. Es necesario explorar la posibilidad de que haya algún nutriente en cantidades restringidas en algún período o que algunos nutrientes, aunque presentes, no estén disponibles, debido al efecto reductor de la anaerobiosis.

Es claro que, en términos generales, el factor de control de desarrollo de las especies vegetales está asociado al relieve y que la presencia de manantiales como condición para la existencia de petenes podria ser más una excepción que una regla.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo en el análisis de suelos y aguas que nos proporcionaron Rocío Esteban, Agustín Quiroz, Alfonso Sánchez y Enrique Solís. Rafael Durán revisó la versión final del manuscrito e hizo valiosos comentarios. Se agradece el apoyo económico del CONACyT y del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Organización de Estados Americanos (PRDCyT-OEA).

LITERATURA CITADA

Barrera, A. 1982. Los petenes del noroeste de Yucatán. Su exploración ecológica en perspectiva. Biotica 7(2): 163-169.

Bloom, A. L. 1978. Geomorphology. Prentice-Hall, Inc. Englewood. Cliffs, New Jersey. 510 pp.

Boto, K., P. Saffigna y B. Clough. 1985. Role of nitrate in nitrogen nutrition of the mangrove *Avicennia marina*. Marine Ecology Progress Series 21: 259-265.

Council of Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. University of Georgia. Athens. 130 pp.

Durán, R. 1987. Descripción y análisis de la estructura y composición de la vegetación de los petenes del noroeste de Campeche, México. Biotica 12(3): 181-198.

Gower, J.C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. Biometrika 53:323-338.

López-Ornat, A. 1983. Mapa de vegetación y uso del suelo de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. In: CIQRO-SEDUE. Vegetación de Sian Ka'an: Estudios preliminares de una zona en Quintana Roo propuesta como Reserva de la Biósfera. Cancún, Q.R. Anexo.

Morrison, D.F. 1976. Multivariate statistical methods. Mc Graw Hill, New York. 343 + XV pp.

Olmsted, I., A. López-Ornat y R. Durán. 1983. Vegetación de Sian Ka'an: Estudios preliminares de una zona en Quintana Roo propuesta como Reserva de la Biósfera. CIQRO-SEDUE. Cancún, Q.R.

Olmsted, I. y R. Durán. (en prensa). Aspectos ecológicos de los petenes de Florida, Campeche y Quintana Roo. Una comparación preliminar de los tipos de petenes en pantanos, su composición y estructura. In: Memorias del Simposio sobre Ecología y Conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva.

Rico-Gray, V. 1982. Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste del Estado de Campeche, México: Los petenes. Biotica 7(2): 171-190.

Semeniuk, V. 1983. Mangrove distribution in Northwestern Australia in relationship to regional and local freshwater seepage. Vegetatio 53: 11-31.

Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1981. Biometry. 2a. ed. W.H. Freeman and Company. San Francisco. 859 pp.

Springall, G. y L. Espinosa. 1972. El subsuelo de la Península de Yucatán. In: Memorias de la VI Reunión de Mecánica de Suelos. México, D. F. pp. Y2 - Y103.